

## Методы оптико-электронной диагностики геометрических параметров для промышленных технологий

*Двойнишников Сергей Владимирович*

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН*

*[dv.s@mail.ru](mailto:dv.s@mail.ru)*

Задача прецизионных измерений геометрических параметров в технологических процессах является важной для широкого спектра промышленных применений. Высокоточный контроль геометрии сложнопрофильных изделий важен для нефтегазового и аэрокосмического комплексов, энергетики и атомной промышленности, всюду, где необходим размерный контроль точных машиностроительных изделий со сложной геометрией [1-4].

Существующие решения задачи измерения геометрических параметров оптическими методами можно разбить на несколько больших групп: интерференционные, времяпролетные, фазовые, триангуляционные, методы частотной модуляции и методы анализа визуальных образов. В представляемом докладе внимание уделено различным научно-техническим решениям, которые находят применение в задачах измерения геометрических параметров в различных технологических процессах в промышленности и науке.

Методы оптической триангуляции основаны на определении расстояния по положению пятна рассеянного на поверхности пучка излучения на фотоприемнике. Метод оптической триангуляции работает следующим образом. Излучательный канал формирует изображение светового пятна на контролируемой поверхности. Рассеянный контролируемой поверхностью свет попадает в приемный канал. В плоскости фотоприемника строится изображение освещенного участка контролируемой поверхности в форме светового пятна. При смещении контролируемой поверхности на величину  $\Delta Z$  (рис. 1), световое пятно в плоскости фотоприемника смещается на величину  $\delta z$ . Зависимость смещения контролируемой поверхности  $\Delta Z$  от смещения светового пятна в плоскости фотоприемника  $\delta z$  имеет следующий вид:

$$\Delta Z = r \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin(\alpha - \varphi)}, \quad (1)$$

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(A \cdot \frac{\delta z}{1 + B \cdot \delta z}\right) \quad (2)$$

$$A = \sin \beta / r' \quad (3)$$

$$B = -\cos \beta / r' \quad (4)$$

где  $r$  и  $r'$  - расстояния от контролируемой поверхности до проецирующего объектива приемного канала и от проецирующего объектива до фотоприемника. Существует большое количество модификаций метода оптической триангуляции, нацеленных на улучшение метрологических характеристик в специфических условиях.

Наиболее часто используемой модификацией метода триангуляции является триангуляция с использованием пространственной модуляции оптического источника. Данный метод предполагает, что на поверхность контролируемого объекта проецируют не световой пучок, а пространственно модулированную засветку (одномерную или двумерную). На фотоприемнике анализируют наблюдаемое двумерное распределение рассеянного излучения, которое, в случае формирования засветки в виде полутоновых полос с гармоническим изменением интенсивности, может быть описано следующим выражением:

$$I(x, y) = A(x, y)(1 + V(x, y) \cos(\varphi(x, y))) \quad (5)$$

где  $I(x, y)$  - распределение интенсивности на изображении контролируемого объекта;  $A(x, y)$  - распределение фоновой интенсивности;  $V(x, y)$  - средняя видность;  $\varphi(x, y)$  - распределение разности фаз, кодирующее информацию о дальности объекта;

Триангуляционные методы светового сечения заключаются в формировании на поверхности объекта узкой световой полосы и наблюдении ее формы с направления, отличного от направления освещения. Наблюдаемые искажения полосы определяют геометрию поверхности в плоскости светового сечения.

Известны методы бесконтактного измерения полного трехмерного профиля поверхности, реализующие принцип сканирующей подсветки, который используется в трехмерной компьютерной анимации и некоторых других приложениях для регистрации формы поверхности. Метод основан на том, что последовательно сканируют отдельные контуры поверхности светящейся полосой и судят о контролируемых размерах по степени искажения изображения полосы и ее местоположению в декартовой системе координат. Основной

недостаток данного метода заключается в высокой погрешности и длительном времени контроля, связанном с наличием операции последовательного сканирования.

В докладе будут представлены различные современные методы оптико-электронной диагностики, позволяющие выполнять измерения геометрических параметров, а также выполнять трехмерное сканирование поверхности измеряемого объекта в промышленных условиях. Будут рассмотрены методы, адаптированные для работы в тяжелых эксплуатационных условиях действующей промышленности.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ № 18-08-00910).

Список публикаций:

[1] Dvoynishnikov S.V., Meledin V.G. *Optoelectronic Differential Cloudy Triangulation Method for Measuring Geometry of Hot Moving Objects / Optoelectronics in Machine Vision-Based Theories and Applications*, M.Rivas-Lopez, O.Sergiyenko, W.Flores-Fuentes, J. C. Rodríguez-Quíñonez, August 2018, p. 49-78.

[2] Dvoynishnikov S.V., Kabardin I.K., Meledin V.G. (2020) *Advanced Phase Triangulation Methods for 3D Shape Measurements in Scientific and Industrial Applications*. In: Sergiyenko O., Flores-Fuentes W., Mercorelli P. (eds) *Machine Vision and Navigation*. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-22587-2\_21.

[3] D V Kulikov, A S Chubov, O Yu Sadbakov, S V Krotov, N N Ovchinnikov *Method of measuring the geometry of rotating parts of power stations based on the effect of self-mixing of laser radiation* // 2019 Journal of Physics: Conference Series Vol. 1359, 012098.

[4] S.V. Dvoynishnikov, V.V. Rakhmanov, I.K. Kabardin, V.G. Meledin *Phase triangulation method with spatial modulation frequency optimization* // *Measurement*, Vol.145 (2019). - P. 63–70.

## **Элементное изучение поверхности твердых тел методом электронной Оже-спектроскопии**

**Загидуллин Айбулат Альбертович**

*Башкирский государственный университет*

*Бахтизин Рауф Загидович, д.ф.-м.н.*

*aibulat.zagidullin.1998@mail.ru*

Основными преимуществами электронной Оже-спектроскопии относительно других методов анализа поверхности является пространственное разрешение меньше одного микрометра, хорошая чувствительность поверхности, обнаружение легких элементов и средняя глубина анализа приблизительно пять нанометров.

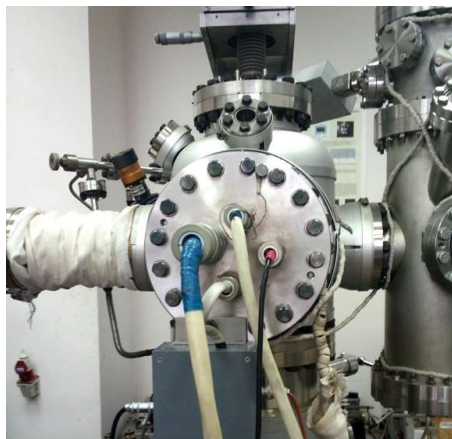


рис. 1. Энергоанализатор со встроенной пушкой Оже.

Принцип электронной Оже-спектроскопии заключается в том, что высокоэнергетический электрон, попадая в атом исследуемого твердого тела, выталкивает электрон с его орбиты, создавая вакансию. В этом случае другой электрон с высшей орбиты перемещается, чтобы заполнить вакансию. При переходе электрона с более высокой на низкую орбиту, он излучает энергию. Энергия высвобождается в виде третьего электрона с другой орбиты. Измеряя энергию излучаемого электрона, называемого Оже-электроном, можно идентифицировать атом. Таким образом, генерация Оже-электрона требует, по меньшей мере, трех электронов.

Элементный анализ поверхности твердых тел производился при сверхвысоком вакууме порядке  $10^{-9}$  Торр.